

## مقاله پژوهشی

# تیپولوژی انرژی محور ابنیه تاریخی شهر تهران: مبنایی برای تحلیل و سناریوهای اقدامات بهره‌وری انرژی

فاطمه ایمانی چات‌قیه<sup>۱</sup>، منصوره طاهباز<sup>۲\*</sup>، شاهین حیدری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری معماری، گروه ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- استاد گروه ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- استاد گروه تکنولوژی، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

## چکیده

در دهه‌های اخیر، بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی با حفظ ارزش‌های میراثی به موضوعی کلیدی در معماری پایدار تبدیل شده است. تیپولوژی بناها زیرساختی مؤثر برای تحلیل انرژی، تصمیم‌گیری مدیریتی و سیاست‌گذاری در حوزه میراث و انرژی فراهم می‌کند. با توجه به تمرکز غالب مطالعات پیشین بر اقلیم‌های سرد و معتدل و تفاوت‌های کالبدی معماری تاریخی ایران به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک، این پژوهش تیپولوژی بومی‌شده‌ای برای بناهای تاریخی شهر تهران با رویکرد انرژی‌محور ارائه می‌کند. هدف پژوهش، توسعه روشی نظام‌مند برای تیپولوژی بناهای تاریخی شهر تهران در راستای ارتقای بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی ایران است. روش پژوهش ترکیبی از تحلیل کیفی و پردازش کمی داده‌های عددی است. داده‌های کیفی با رویکرد تحلیلی، از پروژه‌های پیشین استخراج شده و برای تعیین معیارهای تیپولوژی به کار رفته‌اند. داده‌های کمی مربوط به ۳۱۰ بنای تاریخی ثبت‌شده در شهر تهران از مطالعات کتابخانه‌ای و مستندات موجود گردآوری شده است. برای تحلیل این داده‌ها و شناسایی الگوهای پنهان، روش‌های داده‌مبنا به‌منظور تعیین عوامل مؤثر در تیپ‌بندی، سنجش اهمیت نسبی آن‌ها و فراهم‌سازی مبنایی برای تیپ‌بندی سازگار با ویژگی‌های کالبدی به کار رفته است. بر اساس نوع مجاورت دیوارهای خارجی، شش الگوی کالبدی اصلی در معماری بناهای تاریخی تهران شناسایی و با گذر از پنج مرحله تحلیل بر پایه نتایج سنجش اهمیت معیارها، ده تیپ بنای تاریخی استخراج شد. نتایج نشان داد که ساختمان‌های کوشکی دوطبقه و بیشتر دوره پهلوی به‌عنوان تیپ غالب، بیشترین ظرفیت را برای مدیریت و کاهش مصرف انرژی در شهر تهران دارند و با تکیه بر ویژگی‌های مشترک کالبدی بناها، امکان تعریف سناریوهای مداخلات انرژی هدفمند، قابل بازگشت و کم‌خطر از منظر میراثی را فراهم می‌شود. این رویکرد تیپ‌محور، علاوه بر کاهش عدم قطعیت در سنجش اثرگذاری اقدامات، از قابلیت تعمیم به سایر اقلیم‌ها نیز برخوردار بوده و می‌تواند به‌عنوان بستری پایه برای برنامه‌ریزی مداخلات انرژی به کار گرفته شود.

تاریخ دریافت:

۲۲ دی ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۵

## کلیدواژه‌ها:

بهره‌وری انرژی،

بنای تاریخی،

تیپولوژی،

تهران

doi : 10.22034/AHDC.2026.24026.1898

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## ۱ - مقدمه

امروزه به دلیل محدودیت منابع انرژی، افزایش چشمگیر مصرف و اثرات مخرب آن بر محیط‌زیست، ضرورت صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی بیشتر احساس می‌شود. با توجه به اینکه ۴۰ درصد از مصرف انرژی و حدود یک سوم از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به بخش ساختمان است، اجرای اقدامات بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های موجود که ظرفیت زیادی برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن دارند، ضروری به نظر می‌رسد. (Buda et al., 2022; Ma et al., 2020; Ruggeri et al., 2012). در این میان، ساختمان‌های تاریخی به دلیل الزام به حفاظت از ارزش‌های فرهنگی و میراثی، با محدودیت‌ها و ریسک‌های بیشتری مواجه‌اند و اغلب میان ارتقای بهره‌وری انرژی و حفظ اصالت تاریخی آن‌ها تعارض ایجاد می‌شود.

بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی به معنای بهبود عملکرد انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این ساختمان‌ها است، به‌گونه‌ای که تعادلی پایدار میان استفاده از بنا، عملکرد انرژی و حفاظت از ارزش‌های میراثی آن برقرار شود (EN16883, 2017). بناهای تاریخی بخش مهمی از ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهند و پژوهش‌ها برای هماهنگی حفاظت میراث با بهره‌وری انرژی افزایش یافته است (Bertolin & Loli, 2018; Lidelow et al., 2019). ایکوموس<sup>۱</sup>، بر تهدیدهای اقلیمی و ضرورت مدل‌های حفاظتی انرژی محور تأکید کرده و «کمیت تخصصی بین‌المللی انرژی و پایداری»<sup>۲</sup> را برای پیگیری این اهداف تشکیل داده است (Bastian & Troi, 2015, p. 37; ICOMOS, 2019, pp. 2-3; Labadi et al., 2021, p. 8). چین و انگلستان پیشرو در سیاست‌ها و پروژه‌های بهبود عملکرد انرژی بناهای تاریخی هستند. اکثر مطالعات پیشین بر اقلیم‌های سرد و معتدل اروپا و آمریکای شمالی تمرکز داشته و محدود به پوسته خارجی ساختمان‌ها هستند. ایران با تنوع اقلیمی و معماری غنی، شامل فضاهای باز، نیمه‌باز و بسته و عناصر ویژه‌ای مانند رواق، حیاط، سرداب، بادگیر و جزئیات منحصربه‌فرد در سقف، کف، درب و پنجره است، که ضرورت پژوهش در بهره‌وری انرژی بناهای تاریخی ایران را برجسته می‌کند.

تعیین راهکارهای مؤثر برای ارتقای بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی مستلزم شناخت دقیق عملکرد، پتانسیل‌های انرژی، قابلیت‌های موجود و ویژگی‌های غیرفعال و پایدار این بناهاست. برنامه‌ریزی مؤثر برای اقدامات بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی نیازمند دستیابی به داده‌های پایه و دقیق درباره ویژگی‌های کالبدی، عملکردی و حفاظتی این بناهاست. این اطلاعات نه تنها شرط لازم برای ارزیابی کیفیت و اثربخشی مداخلات انرژی محور است، بلکه تضمین‌کننده دوام و حفظ ارزش‌های میراثی بنا نیز به شمار می‌رود.

تیپولوژی انرژی محور ابنیه تاریخی، روشی نظام‌مند و بین‌رشته‌ای برای تقسیم‌بندی یک مجموعه عظیم از ساختمان‌ها به تعداد محدودی از گروه‌های معرف و آماری با ویژگی‌های ساختاری، کالبدی و حرارتی مشابه است که امکان تحلیل دقیق پتانسیل صرفه‌جویی در انرژی و حفظ ارزش‌های فرهنگی آن‌ها را فراهم می‌کند (Trachte & Stiernon, 2024). این رویکرد با ایجاد یک چارچوب نظام‌مند برای تیپولوژی ساختمان‌ها، فرآیند گردآوری داده‌ها، تحلیل عملکرد انرژی و طراحی اقدامات بهره‌وری را تسهیل می‌کند. با توجه به تنوع قابل توجه در ساختار، اندازه و ویژگی‌های فیزیکی بناهای تاریخی، گروه‌بندی آن‌ها بر اساس شاخص‌های مرتبط با مصرف انرژی، امکان ارائه یک نمای آماری معتبر از کل مجموعه را فراهم می‌سازد. در نتیجه، بررسی دقیق چند ساختمان نماینده امکان‌پذیر شده و نتایج حاصل می‌تواند به‌طور مؤثر به مقیاس منطقه تعمیم یابد. گونه‌بندی ساختمان‌ها از دیدگاه انرژی، روشی انعطاف‌پذیر برای ارزیابی عملکرد انرژی و پیشنهاد اقدامات بهینه‌سازی محسوب می‌شود (Dascalaki et al., 2011; Filogamo et al., 2014).

در مطالعات پیشگام نیز تحلیل تیپولوژیک گام بنیادین برای شناسایی انواع بناها و برنامه‌ریزی اقدامات بهینه پیش از هرگونه محاسبه انرژی معرفی شده است (Broström et al., 2017; Trachte & Stiernon, 2024). باوجود مطالعات گسترده در اروپا و آمریکا، در ایران هنوز چارچوبی نظام‌مند برای تیپولوژی انرژی محور بناهای تاریخی تدوین نشده است که بتواند مبنای مدل‌سازی انرژی و سیاست‌گذاری حفاظتی قرار گیرد. پژوهش پیشین نویسندگان (ایمانی و دیگران، ۱۴۰۴)

با عنوان «تدوین چارچوب ارزیابی اهمیت میراثی برای سناریوهای بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی ایران» چارچوبی را ارائه کرده است که امکان تعیین اهمیت میراثی را نه تنها در سطح کل بنا، بلکه برای اجزای مختلف آن نیز فراهم می‌سازد. آن چارچوب همچنین ارزیابی تأثیرات میراثی ناشی از اقدامات بهره‌وری انرژی را ممکن کرده و زمینه‌ای برای ایجاد توازن میان ارزش‌های میراثی و الزامات انرژی فراهم می‌کند. مقاله حاضر به‌عنوان پیش‌نیاز تحلیل انرژی در ادامه همان پژوهش، گام بعدی را در جهت بهره‌گیری از پتانسیل‌های متنوع بناهای تاریخی برمی‌دارد. هدف آن، تدوین یک تیپولوژی انرژی محور است که زیرساختی برای تحلیل انرژی، تصمیم‌گیری مدیریتی و سیاست‌گذاری در حوزه میراث و انرژی محسوب می‌شود. این تیپولوژی، شناخت دقیق‌تر از گونه‌های مختلف بناهای تاریخی را ممکن می‌سازد تا در برنامه‌ریزی‌های انرژی بتوان با درک روشن‌تری از ویژگی‌ها و ظرفیت‌های هر تیپ بنا اقدام کرد. نتایج این پژوهش می‌تواند پایه‌ای علمی برای مدل‌سازی انرژی، شناسایی پتانسیل‌های صرفه‌جویی و تدوین سیاست‌های بهینه در حوزه حفاظت و بهره‌وری انرژی در بافت‌های تاریخی ایران به کار گرفته شود.

با توجه به تنوع کالبدی بناهای تاریخی شهر تهران و پیچیدگی‌های ناشی از اقلیم گرم و خشک، توسعه یک چارچوب تیپولوژی انرژی محور مستلزم شناسایی دقیق الگوهای کالبدی و معیارهای مؤثر در شکل‌گیری تیپولوژی است. در این راستا، پرسش اصلی پژوهش بر چگونگی تدوین یک تیپولوژی بومی شده متمرکز بوده و پرسش‌های فرعی مسیر دستیابی به آن را تبیین می‌کنند.

### پرسش اصلی

چگونه می‌توان بر اساس ویژگی‌های کالبدی و اقلیمی بناهای تاریخی شهر تهران، یک تیپولوژی انرژی محور تدوین کرد که مبنای تحلیل نظام‌مند عملکرد و پتانسیل انرژی آن‌ها قرار گیرد؟

### پرسش‌های فرعی

- ۱- بر اساس تحلیل داده‌های کالبدی، الگوهای تیپولوژیک در بناهای تاریخی شهر تهران کدامند؟
  - ۲- چگونه می‌توان با استفاده از روش‌های تحلیل آماری، الگوهای پنهان و اهمیت نسبی معیارهای تیپولوژیک در بناهای تاریخی شهر تهران را شناسایی کرد؟
- پاسخ به این دو پرسش فرعی، ابتدا ساختار تیپولوژیک موجود و الگوهای کالبدی اصلی را آشکار ساخته و سپس اهمیت نسبی معیارهای اثرگذار را در شکل‌گیری تیپولوژی انرژی محور مشخص می‌کند. این دو گام، مبنای تدوین یک چارچوب بومی شده برای تیپولوژی انرژی محور بناهای تاریخی تهران را فراهم کرده و در نهایت به ارائه پاسخی جامع برای پرسش اصلی منتهی می‌شوند.

### ۲- پیشینه پژوهش

#### ۲-۱- بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی

در ادبیات پژوهش، بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی عمدتاً از طریق تدوین دستورالعمل‌ها و چارچوب‌های تصمیم‌گیری موردتوجه قرار گرفته است. انجمن مهندسين گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا (اشری)<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۹ دستورالعملی<sup>۴</sup> برای افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های تاریخی با حداقل تغییر در ویژگی‌ها و مصالح منتشر کرد. استاندارد اروپایی شماره ۱۶۸۸۳<sup>۵</sup> در سال ۲۰۱۷ نیز راهنمای بین‌المللی برای بهبود عملکرد انرژی بناهای تاریخی ارائه داد (EN16883, 2017). علاوه بر این، سازمان‌هایی مانند آژانس انرژی سوئد، راهنمای تاریخی انگلستان<sup>۶</sup> و برنامه تحقیقاتی اسکاتلند پروژه‌هایی برای ارتقای بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های تاریخی و سنتی آغاز کرده‌اند و از اتحادیه ساختمان‌های سنتی پایدار<sup>۷</sup> حمایت می‌کنند. انجمن تهویه مطبوع، گرمایش و سرمایش ایتالیا<sup>۸</sup> نیز در سال ۲۰۱۴ دستورالعملی درباره صرفه‌جویی و ممیزی انرژی در بناهای تاریخی منتشر کرده است.

## ۲-۲ - تیپولوژی انرژی محور در بناهای تاریخی: رویکردها و روش‌ها

مفهوم تیپولوژی در پژوهش‌های معماری دامنه‌ای گسترده از طبقه‌بندی‌های فرمال، تاریخی و کارکردی را در بر می‌گیرد (فرح‌بخش و دیگران، ۱۴۰۰)؛ با این حال، در این مطالعه، تیپولوژی به‌طور مشخص در چارچوب رویکردهای انرژی‌محور و به‌عنوان یک روش تحلیلی در مطالعات بهره‌وری انرژی بناهای تاریخی به کار گرفته شده است. تیپولوژی انرژی‌محور ساختمان‌ها ابزاری منعطف و مستحکم برای ارزیابی عملکرد انرژی تعداد زیادی ساختمان و ارائه سناریوهای بهبود انرژی است. در مطالعات بین‌المللی، تیپولوژی معماری معمولاً نخستین گام در ارزیابی انرژی محسوب می‌شود و شناخت گونه‌های کلیدی پیش از مدل‌سازی عددی، چارچوب تحلیل و سیاست‌گذاری انرژی را فراهم می‌آورد. برای مدیریت ساختمان‌های ناهمگن از نظر انرژی، آن‌ها را به دسته‌های آماری محدود تقسیم می‌کنند که الگوهای رفتاری مشترک را مشخص و فرآیند مطالعه را ساده‌تر می‌کند (Berg, 2015, pp. 28–33; Broström et al., 2017; Dascalaki et al., 2011; Filogamo et al., 2014). تیپولوژی ساختمان‌ها از منظر انرژی ابزاری مؤثر برای بررسی عملکرد انرژی و کاهش انتشار  $CO_2$ ، تعیین استراتژی‌های مصرف انرژی، معرفی اقدامات اجرایی، ارزیابی فناوری‌های نوین، تدوین سیاست‌ها و مقررات، تحلیل اثرات اقتصادی طولانی‌مدت و ایجاد تعادل میان بهره‌وری انرژی و حفاظت از ساختمان‌های تاریخی است (Raslan et al., 2018). در سال ۲۰۰۵، پارخ فرآیند تیپ‌بندی ساختمان‌های مسکونی را بر سه مؤلفه هندسی، حرارتی و عملکردی تعریف کرد و با تمرکز اولیه بر ویژگی‌های هندسی، ساختمان‌های کم‌ارتفاع را بر اساس تعداد طبقات، شکل پلان، نوع سقف و فونداسیون دسته‌بندی نمود. این چارچوب به ایجاد کتابخانه‌ای استاندارد برای ارزیابی ساده‌شده مصرف انرژی انجامید (Parekh, 2005). پروژه‌های بین‌المللی مهم در این زمینه شامل پروژه TABULA در سال ۲۰۱۲ با معیارهای اقلیم، سن بنا و اندازه ساختمان (Loga et al., 2016) و پروژه ECCABS (ارزیابی انرژی، کربن و هزینه برای ساختمان‌ها) با تمرکز بر نوع کاربری، تعداد طبقات، اتصال به سایر ساختمان‌ها، سال ساخت، سیستم‌های گرمایشی و منطقه آب‌وهوایی هستند (Mata et al., 2014).

با گسترش روش‌های تیپولوژیک در تحلیل انرژی، بناهای تاریخی نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند؛ زیرا تیپولوژی دقیق این بناها می‌تواند پایه‌ای برای اتخاذ تصمیمات حساس و همسو با اصول حفاظتی فراهم کند. فرآیند برنامه‌ریزی برای اقدامات بهره‌وری انرژی در بنای تاریخی باید با جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات دقیق درباره بنا آغاز گردد. این کار به منظور ارزیابی اثربخشی و کیفیت اقدامات بهره‌وری انرژی انتخاب‌شده و همچنین تضمین دوام ساختمان انجام می‌شود. در ابتدا، لازم است تا پیش از هرگونه فرضیه‌سازی درباره عملکرد انرژی بنا یا گردآوری بیشتر اطلاعات درباره وضعیت حفاظتی و ویژگی‌های میراثی آن، میزان مشخصی از اطلاعات پایه گردآوری شود تا تصویری دقیق و کامل از ساختمان به دست آید. این مرحله از جمع‌آوری داده‌ها می‌تواند ساده‌تر و سریع‌تر انجام شود، به‌ویژه اگر تیپولوژی ساختمان مورد مطالعه به‌وضوح شناسایی شده باشد (Trachte & Stiernon, 2024).

در سال ۲۰۱۷، پروژه اِفسس<sup>۱۰</sup> «بهره‌وری انرژی برای پایداری مناطق شهری تاریخی اتحادیه اروپا» روشی را ارائه کرد که در شهر ویسبی<sup>۱۱</sup> سوئد مورد آزمایش قرار گرفت (Eriksson et al., 2014). این پروژه ساختمان‌ها را بر اساس تعداد طبقات، اتصال به ساختمان‌های دیگر، مساحت، میزان گرمایش و حجم ساختمان‌ها دسته‌بندی کرد (Broström et al., 2018). در سال ۲۰۱۸، رسلان و همکاران این روش را در قاهره اعمال کردند و بناها را در دو منطقه از قاهره به چهار و نه طبقه تقسیم کردند. آنها علاوه بر تعداد طبقات و نوع اتصال به ساختمان‌های مجاور، از مساحت و ارتفاع استاندارد هر طبقه برای محاسبه حجم استفاده کردند (Raslan et al., 2018). در سال ۲۰۲۱، ابراهیم و همکاران یک روش طبقه‌بندی یکپارچه ارائه دادند که هم جنبه‌های مصرف انرژی و هم ارزش فرهنگی بناها را در اقلیم‌های گرم شمال آفریقا در نظر می‌گیرد و سناریوهای احتمالی بهبود عملکرد انرژی را بر اساس تیپولوژی ساختمان‌ها پیشنهاد می‌کند (Ibrahim et al., 2021).

در سال ۲۰۲۴، پروژه پی-رینیوال<sup>۱۲</sup> در والونی بلژیک به ارتقای بهره‌وری انرژی و حفظ ارزش‌های میراثی ساختمان‌های تاریخی پرداخت. این پروژه ساختمان‌های مسکونی پیش از سال ۱۹۱۴ را بر اساس ویژگی‌های کالبدی، مصالح، تعداد طبقات و نوع اتصال به ساختمان‌های مجاور طبقه‌بندی و اقدامات نوسازی متناسب با شرایط هر بنا را طراحی کرد (Trachte & Stiernon, 2024). در راستای اجرای استاندارد EN 16883:2017، ابزارهایی مانند DSS/RE2H و GreenWheel نیز برای تلفیق اقدامات بهره‌وری انرژی با حفظ ارزش‌های تاریخی بر اساس تیپولوژی ساختمان‌ها توسعه یافته‌اند این رویکردها نشان می‌دهند که تیپولوژی، گامی کلیدی در برنامه‌ریزی اقدامات بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی است (Buda et al., 2022).

با توجه به پیشینه مطرح‌شده در زمینه تیپولوژی ساختمان‌ها و به‌ویژه بناهای تاریخی از منظر انرژی، صرف‌نظر از هدف یا روش، چند معیار تکرار شونده برای طبقه‌بندی در مطالعات قابل تشخیص است: اقلیم، سال ساخت، اندازه ساختمان، تعداد طبقات، اتصالات به ساختمان‌های دیگر، سیستم گرمایشی، مساحت، میزان گرمایش، حجم، انواع ساخت‌وساز، کاربری و ویژه بناهای تاریخی بودن. در ادامه به بررسی معیارهای اصلی مورد استفاده در این مطالعات پرداخته‌شده است که در قالب جدولی تنظیم و مقایسه شده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱: معیارهای دسته‌بندی تیپولوژیک ساختمان‌ها از منظر انرژی در مطالعات مختلف (مأخذ: نگارندگان)

مطالعات	سال	منطقه	معیارها											
			اقلیم	سال ساخت	اندازه ساختمان	تعداد طبقات	اتصالات به دیگر ساختمان‌ها	سیستم گرمایشی	مساحت	میزان گرمایش	حجم	انواع ساخت‌وساز	کاربری	ویژه بناهای تاریخی
آنیل پارخ	۲۰۰۵	کانادا		*		*	*	*		*		*		
TABULA	۲۰۱۲	اروپا	*	*	*									
ECCABS	۲۰۱۴	اروپا	*	*		*	*	*				*		
EFFESUS	۲۰۱۷	اروپا				*	*		*	*	*	*		*
رسلان و دیگران	۲۰۱۸	قاهره				*	*		*		*			*
ابراهیم و دیگران	۲۰۲۱	شمال آفریقا				*	*		*		*	*		*
پی رینیوال	۲۰۲۲	بلژیک				*	*				*			*

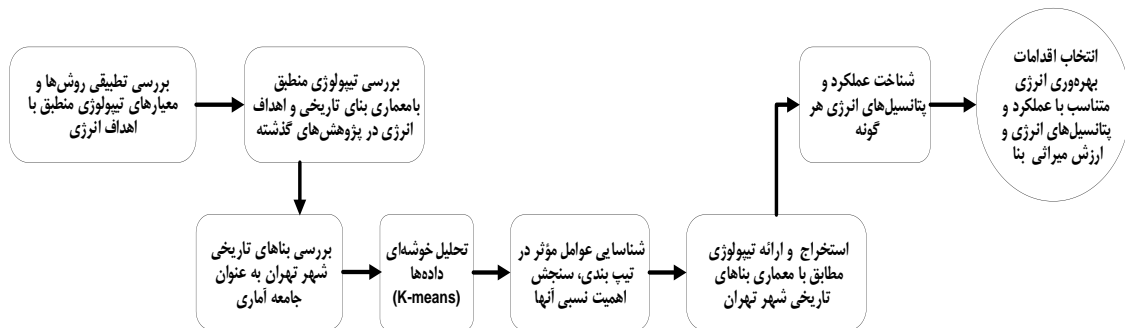
بر اساس جدول ۱، معیارهای پرتکرار در دسته‌بندی تیپولوژیک از منظر انرژی ساختمان‌ها شامل تعداد طبقات، نوع اتصال به ساختمان‌های مجاور، حجم، مساحت، نوع ساخت‌وساز و نوع سیستم گرمایشی هستند. تنوع این معیارها در مطالعات مختلف نشان می‌دهد که هنوز رویکردی واحد و جهانی برای تیپولوژی انرژی محور ساختمان‌ها شکل نگرفته است؛ به طوری که هر پژوهش، با توجه به اهداف خاص، موقعیت جغرافیایی و مقیاس مورد نظر خود، بر مجموعه‌ای متفاوت از معیارها تمرکز دارد. این مسئله در خصوص بناهای تاریخی نیز با پیچیدگی بیشتری همراه است، چراکه تنوع ویژگی‌های کالبدی در دوره‌های مختلف تاریخی بسیار بالاست. اغلب مطالعات موجود بر ساختمان‌های تاریخی در اقلیم‌های سرد و معتدل اروپا و با تأکید بر پوسته خارجی متمرکز شده‌اند؛ در این پژوهش، با توجه به اقلیم گرم و خشک شهر تهران، ضروری است معیارها و رویکردها متناسب با شرایط اقلیمی، اهداف پروژه و ویژگی‌های بومی معماری، بازنگری و بازتعریف شوند.

### ۳- روش پژوهش

این پژوهش باهدفی کاربردی و بر اساس منابع مکتوب، به بررسی رویکردها و روش‌های تیپولوژی ساختمان از منظر انرژی در مقالات، اسناد و استانداردها می‌پردازد. این مطالعه با رویکرد تحلیلی، تحقیقات پیشین در زمینه روش‌های تیپولوژی

ساختمان را شناسایی، تحلیل و ارزیابی کرده و تلاش می‌کند پارامترهای کلیدی و داده‌های ضروری برای تعیین طبقه‌بندی سازگار با ویژگی‌های معماری بناهای تاریخی تهران را استخراج کند. در ادامه، به‌منظور تحلیل ساختار داده‌ها و شناسایی الگوهای پنهان میان ویژگی‌های کمی بناها، از روش‌های داده‌مبنا مانند تحلیل خوشه‌ای<sup>۱۳</sup> و جنگل تصادفی<sup>۱۴</sup> استفاده شده است. این رویکرد با اهداف شناسایی عوامل مؤثر در تیپ‌بندی، سنجش اهمیت نسبی آن‌ها و فراهم‌سازی مبنایی برای تدوین الگویی سازگار با شرایط معماری بناهای تاریخی به کار گرفته شده است.

منابع اصلی اطلاعات را می‌توان به دو گروه به ترتیب نمایانگر مواد کیفی و کمی تقسیم کرد. اطلاعات کیفی توسط تحقیقات پیشین و پروژه‌های قبلی انجام‌یافته که برای مشخص کردن زمینه و شناسایی نیاز و مؤلفه‌های لازم برای یک روش تیپولوژی جدید در این پژوهش استفاده شده است. گروه دوم داده‌ها در قالب فهرستی شامل داده‌های کمی در مورد ۳۱۰ بناهای تاریخی ثبت‌شده در شهر تهران ساختاریافته است. در این پژوهش برای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها برای تیپولوژی بناهای تاریخی تهران در اقلیم گرم خشک از منابع مختلف مانند وب‌سایت رسمی وزارت میراث فرهنگی<sup>۱۵</sup>، وب‌سایت رسمی موزه‌ها<sup>۱۶</sup>، مصاحبه با مالکان و مطالعات توأمان کتابخانه‌ای، میدانی و مراجعه به بناهای تاریخی استفاده شده است. تصویر ۱ چارچوب مفهومی روش پژوهش را نشان می‌دهد.



تصویر ۱: فرایند پژوهش در یک نگاه کلی

#### ۴- نمونه مورد مطالعه: بناهای تاریخی شهر تهران

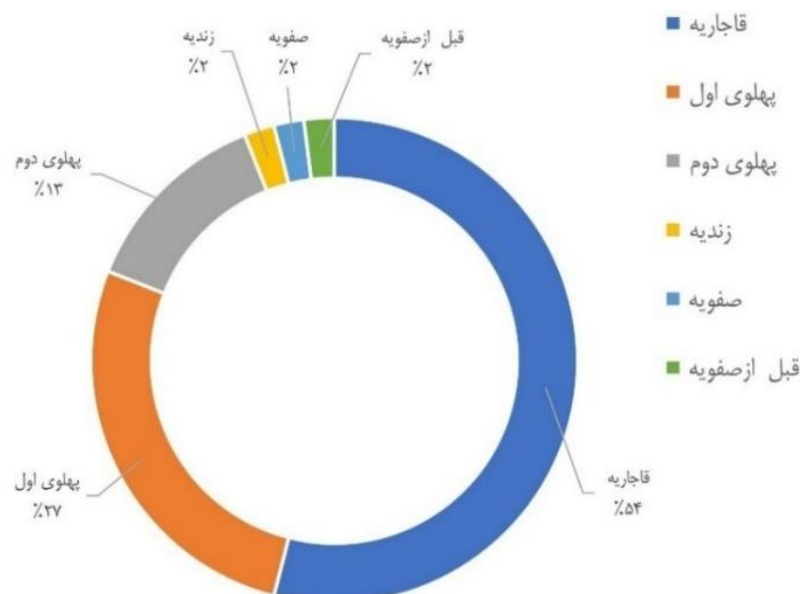
در این پژوهش، شهر تهران برای نمونه مطالعاتی انتخاب شده است. شهری با اقلیم گرم و خشک که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته و دارای معماری بومی ویژه از دوره‌های مختلف است که امکان بررسی جامع و تحلیل دقیق بناهای تاریخی متنوع را فراهم می‌کند. یافته‌ها همچنین قابلیت تعمیم به سایر مناطق گرم و خشک ایران را دارند. در شهر تهران تعداد ۳۱۰ آثار فرهنگی تاریخی ثبت‌شده از طریق پرونده میراثی آنها مورد بررسی قرار گرفت<sup>۱۷</sup>. از آنجایی که در آثار ثبت‌شده در فهرست میراث فرهنگی تفکیکی میان محوطه تاریخی و بنای تاریخی نیست برای دستیابی به تعداد ساختمان‌های تاریخی که مصرف انرژی دارند یعنی یا کاربری تازه یافته‌اند یا امتداد کاربری قبلی در آن‌ها جریان دارند، تفکیکی مطابق جدول ۲ در میان آثار انجام شد. در این پژوهش، فضاهایی که به‌طور ذاتی مصرف انرژی ندارند، مانند محوطه‌های تاریخی، پارک‌ها، میدان‌های شهری، منارها، گورستان‌ها و... از دامنه بررسی خارج شده‌اند، هرچند نقش مهمی در هویت تاریخی و فرهنگی شهر ایفا کنند. تمرکز مطالعه بر بناهای تاریخی دارای مصرف انرژی است که همچنان با کاربری اولیه فعال هستند یا کاربری جدید یافته‌اند. جدول ۲ به دسته‌بندی و تحلیل نوع دارایی‌های میراث فرهنگی شهر تهران بر اساس وضعیت کاربری و مصرف انرژی می‌پردازد. این جدول نشان می‌دهد که از میان ۳۱۰ بنای فرهنگی تاریخی ثبت‌شده: ۶۷٪ از کل موارد، ساختمان‌های دارای کاربری فعال هستند و موضوع اصلی پژوهش در حوزه بهره‌وری انرژی‌اند. ۱۶٪ ساختمان‌ها بدون کاربری‌اند (متروکه یا رهاشده) قابل احیا، اما فعلاً غیرفعال. ۱۰٪ شامل فضاهای باز شهری (مثل پارک و میدان) هستند که مصرف انرژی ندارند و خارج از دامنه تحقیق قرار می‌گیرند. سایر موارد (ساختمان‌های نمادین، تخریب‌شده یا خارج‌شده از لیست) در مجموع ۷٪ را تشکیل می‌دهند نیز خارج از محدوده پژوهش هستند. در مجموع، بیش از دوسوم داده‌ها قابل بررسی از منظر بهره‌وری انرژی‌اند.

جدول ۲: تفکیکی آثار تاریخی فرهنگی شهر تهران (مأخذ: نگارندگان)

نوع دارایی‌های میراث فرهنگی شهر تهران	تعداد	درصد
ساختمان	۲۰۹	۶۷٪
ساختمان بدون کاربری	۵۱	۱۶٪
میدان، محله شهری، پارک، گورستان	۳۰	۱۰٪
ساختمان بدون مصرف انرژی (مانند منار)	۱۰	۳٪
خارج‌شده از لیست میراث فرهنگی	۲	۱٪
ساختمان تخریب‌شده	۸	۳٪
مجموع	۳۱۰	۱۰۰٪

به‌منظور شناخت دقیق‌تر از وضعیت میراث معماری شهر تهران، دارایی‌های ثبت‌شده فرهنگی این شهر از منظر قدمت و کاربری موردبررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند تا زمینه را برای تحلیل تیپولوژیک از منظر انرژی و بررسی تأثیر قدمت و عملکرد بنا بر الگوهای مصرف انرژی فراهم کند.

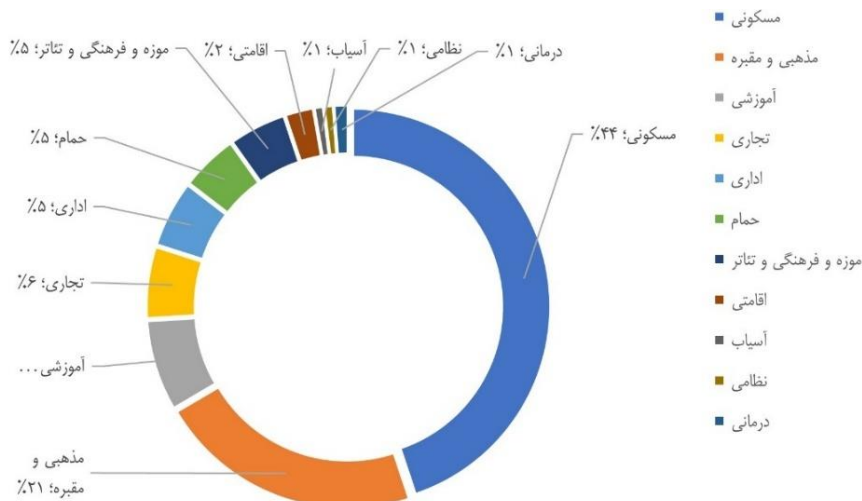
بررسی نمودار دوره تاریخی (تصویر ۲) نشان می‌دهد که بیشترین تعداد آثار متعلق به دوره قاجار (۵۴٪) و پس‌از آن دوره پهلوی اول (۲۷٪) و پهلوی دوم (۱۳٪) است؛ درحالی‌که آثار متعلق به دوره‌های قبل از قاجار سهم بسیار کمتری دارند. این تمرکز زمانی، بازتابی از توسعه شهر تهران در دوره‌های متأخر و اهمیت آثار مربوط به دوران مدرن اولیه است.



دوره تاریخی	قاجاریه	پهلوی اول	پهلوی دوم	زندیه	صفویه	قبل از صفویه
تعداد ساختمان	۱۶۸	۸۴	۴۱	۵	۷	۵

تصویر ۲: نمودار درصد و تعداد میراث ثبت‌شده بر مبنای قدمت تاریخی در شهر تهران (مأخذ: نگارندگان)

در نمودار توزیع کاربری اولیه بناها (تصویر ۳) که نشان‌دهنده کاربری تاریخی آن‌ها در زمان احداث است، از میان ۲۶۰ بنای بررسی‌شده، کاربری مسکونی با سهم ۴۴ درصد بیشترین فراوانی را دارد. پس‌از آن، بناهای مذهبی و آرامگاهی با ۲۱ درصد در رتبه دوم قرار می‌گیرند. سایر کاربری‌ها مانند آموزشی، تجاری، اداری، حمام و فرهنگی نیز سهم‌های کمتری را به خود اختصاص داده‌اند. اگرچه این کاربری‌ها الزاماً با وضعیت کنونی بناها یکسان نیستند، اما می‌تواند در درک الگوهای کالبدی رایج و شکل‌گیری تیپولوژی معماری تاریخی مؤثر واقع شود.



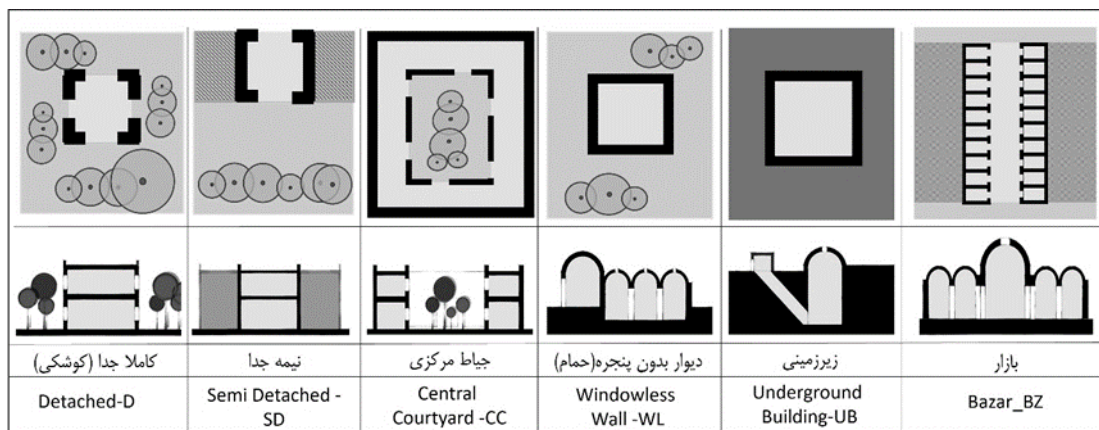
کاربری	مسکونی	مذهبی و مقبره	آموزشی	تجاری	اداری	حمام	موزه و فرهنگی	اقامتی	آسیاب	نظامی	درمانی	سایر
تعداد ساختمان	۱۱۴	۵۵	۱۹	۱۵	۱۴	۱۲	۱۲	۶	۲	۲	۳	۶

تصویر ۳: نمودار درصد و تعداد ساختمان‌ها بر مبنای کاربری اولیه بناهای تاریخی ثبت شده در شهر تهران (مأخذ: نگارندگان)

## ۵- تیپولوژی بناهای تاریخی شهر تهران از منظر انرژی

باهدف دسته‌بندی و تحلیل تیپولوژیک بناهای تاریخی تهران از منظر انرژی، داده‌های گردآوری شده در این پژوهش با تمرکز بر ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌ها موردبررسی قرار گرفت. این تیپولوژی مبتنی بر معیارهایی است که در مطالعات پیشین، به‌ویژه پروژه اِفسس در شهر ویسبی و سایر پژوهش‌های مرتبط، برای تحلیل انرژی‌محور در بناهای تاریخی به‌کار رفته‌اند. معیارهایی چون اقلیم، نوع مجاورت و اتصال دیوارهای خارجی، قدمت ساختمان، تعداد طبقات، مساحت زیربنا و کاربری پیشین، پایه‌های اصلی این دسته‌بندی را تشکیل می‌دهند. با این حال، باید توجه داشت که اغلب این رویکردها بر اساس الگوهای معماری مناطق سرد و معتدل اروپا طراحی شده‌اند و استفاده از آنها در مواجهه با ساختارهای معماری ایران، به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک تهران، با محدودیت‌هایی مواجه می‌شوند.

در معماری سنتی ایران، بررسی هندسه، پوسته خارجی و رابطه‌ی بنا با فضای پیرامون نشان می‌دهد که دسته‌بندی‌های متداول مانند مجزا یا نیمه‌مجزا بودن بنا، پاسخگوی پیچیدگی‌های کالبدی و تنوع کم‌نظیر در ترکیب فضاهای باز، بسته و نیمه‌باز نیست؛ بنابراین در این پژوهش، تلاش شده است تا با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص معماری بومی تهران، چارچوبی بومی شده برای تیپولوژی انرژی‌محور بناهای تاریخی ارائه گردد. جهت تسهیل ارزیابی عملکرد انرژی تعداد زیادی ساختمان و ارائه توصیه‌های اولیه در مورد عملکرد انرژی و سناریوهای برای بهبود عملکرد انرژی شش‌گویی کالبدی اصلی در بناهای تاریخی شهر تهران شناسایی شدند. این الگوها عبارت‌اند از: بناهای مستقل و کاملاً جدا (کوشکی)، نیمه جدا (دو دیوار مجاور)، حیاط مرکزی، دیوار بدون پنجره (حمام)، زیرزمینی (آب‌انبار) و بازار (تصویر ۴).



تصویر ۴: تیپولوژی بناهای تاریخی شهر تهران برحسب اتصال‌های دیوارهای خارجی (ارتباط با ساختمان‌های دیگر) (مأخذ: نگارندگان)

**الگوی کاملاً جدا (کوشک‌ها):** اتصالات دیوار خارجی این نوع بناها از هر طرف کاملاً آزاد هستند و هیچ‌گونه اتصال به ساختمان‌های مجاور ندارند، به طوری که چهار جبهه کاملاً باز و مستقل است. بازشوها در تمامی جبهه‌ها قرار گرفته‌اند و در برخی موارد، به صورت متقارن طراحی می‌شوند. با توجه به اینکه بیشترین سطح دیوارهای این بناها در تماس مستقیم با محیط بیرونی قرار دارد، میزان تبادل حرارتی در آنها بسیار بالا است.

**الگوی نیمه جدا:** در الگوی نیمه‌مجزا، بنا از یک یا دو ضلع به ساختمان‌های مجاور متصل بوده و در نتیجه دو یا سه جبهه‌ی آن آزاد است. در اغلب موارد، جبهه‌های شمالی و جنوبی بنا باز هستند که امکان تهویه متقابل و نورگیری مناسب را فراهم می‌کند و بازشوها عمدتاً در جهت حیاط یا خیابان قرار دارند.

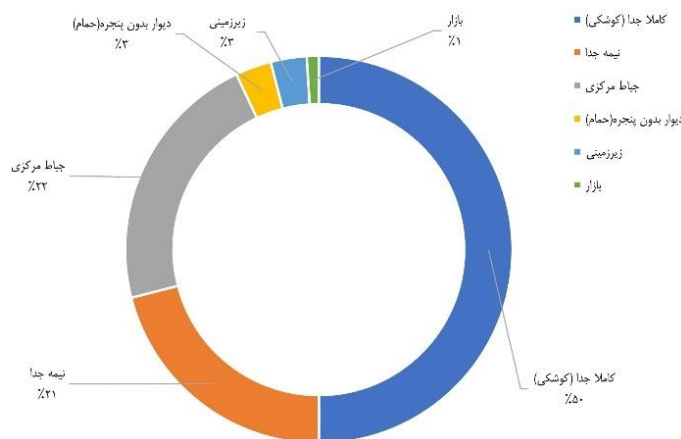
**الگو حیاط مرکزی:** یکی از الگوهای رایج در معماری ایرانی، ساختار حیاط مرکزی است که در آن تمام بازشوها به سمت داخل و حیاط مرکزی قرار دارند و پوسته بیرونی فاقد پنجره یا بازشوی اضافی به جز ورودی اصلی است. افزون بر این، ساختمان از چهار طرف ممکن است توسط دیگر ابنیه محصور شده باشد که این خود، چهار حالت متفاوت برای اتصال دیوارهای خارجی بنا ایجاد می‌کند. در برخی موارد، حیاط مرکزی در سطحی پایین‌تر از زمین اصلی ساخته می‌شود که به آن گودال‌باغچه می‌گویند. در این حالت، دیوارهای زیرین با خاک در تماس مستقیم‌اند و این موضوع بر تبادل حرارتی و رفتار اقلیمی بنا تأثیرگذار است.

**الگو دیوار بدون پنجره (حمام‌ها):** حمام‌ها به لحاظ نوع اتصالات خارجی بنا فضاهای بسته‌ای دارای جداره‌های خارجی فاقد پنجره‌اند و تنها ورودی اصلی در نقش بازشو عمل می‌کند. این بناها معمولاً چند متر پایین‌تر از سطح زمین ساخته می‌شوند تا با استفاده از جرم حرارتی خاک، تبادل حرارتی با محیط کاهش یافته و فضای داخلی گرم‌تر باقی بماند. در این ساختار معماری نور و تهویه از طریق جام‌خانه‌های سقفی یا پنجره‌های کوچک زیر طاق تأمین می‌شود.

**الگوی زیرزمینی (آب‌انبار):** الگوی آب‌انبار، سازه‌هایی زیرزمینی هستند که معمولاً دیوارهای آن‌ها با خاک در تماس است و بازشوهای بسیار محدودی دارند که فقط برای دسترسی یا تهویه از بالا تعبیه شده‌اند. دیوارهای در تماس با خاک مانع نوسانات دمایی شدید شده و بازشوهای محدود به حفظ سرمای طبیعی کمک می‌کنند.

**الگوی فضاهای خطی سرپوشیده (بازار):** الگوی بازار در معماری بومی تهران شامل راسته‌هایی سرپوشیده با ساختاری خطی یا شبکه‌ای است که حجره‌ها در دو طرف آن قرار دارند. این فضاها با طاق‌های بلند، بازشوهای سقفی برای تهویه و نور طبیعی و سایه‌اندازی مؤثر طراحی شده‌اند. طاق میانی بازار با کاهش تابش مستقیم خورشید در تابستان و حفظ گرما در زمستان، نقش تنظیم‌کننده دمایی را ایفا می‌کند. حجره‌ها تنها به سمت راسته بازار باز می‌شوند که هوای آن به‌طور طبیعی کنترل می‌شود و این امر به کاهش تبادل حرارتی با فضای بیرونی و افزایش بهره‌وری انرژی کمک می‌کند.

تصویر ۵ نمودار توزیع بناهای تاریخی شهر تهران بر مبنای اتصال‌های دیوارهای خارجی نشان می‌دهد که عمده بناهای تاریخی ثبت‌شده در شهر تهران حدود ۵۰٪ (با کاربری و بدون کاربری) به‌صورت کاملاً جدا و مستقل از سایر ساختمان‌ها و معمولاً در میان حیاط یا باغ احداث شده‌اند و با طراحی بروننگرا از هر طرف به سمت محیط بیرون بازشو و پنجره دارند. ساختمان‌های نیمه‌جدا که از دو طرف به بناهای مجاور متصل بوده و در این جهات فاقد بازشو هستند و همچنین ساختمان‌هایی با حیاط مرکزی که تنها بازشوهایشان به سمت فضای حیاط قرار دارد، هر یک تقریباً حدود ۲۰٪ از بناهای تاریخی شهر تهران را تشکیل می‌دهند و سهم نسبتاً یکسانی دارند. باقی بناهای تاریخی شهر تهران شامل ساختمان‌هایی بدون بازشو از جداره مانند حمام، بناهای زیرزمینی مانند آب‌انبارها و بازارچه‌ها در مجموع تعداد کمی را شامل می‌شوند. لازم به ذکر است که باوجود اهمیت و وسعت مجموعه بازار تهران (شماره ثبت ۱۵۴۰)، به دلیل گستردگی و تنوع فضایی بسیار زیاد، در این طبقه‌بندی گنجانده نشده و در جدول ۲ بخشی از مناطق شهری در نظر گرفته شده است. بازار تهران به‌مثابه یک منطقه شهری عمل می‌کند که خود شامل الگوهای فضایی متنوعی مانند سراها و تیمچه‌هاست. در مقابل، بازارهایی که در این پژوهش مدنظر قرار گرفته‌اند، مانند بازارچه شاپور، ساختاری ساده‌تر دارند، شامل یک راسته بازار با تعداد مشخصی حجره هستند و تحت یک واحد عملکردی مستقل قابل تحلیل‌اند.

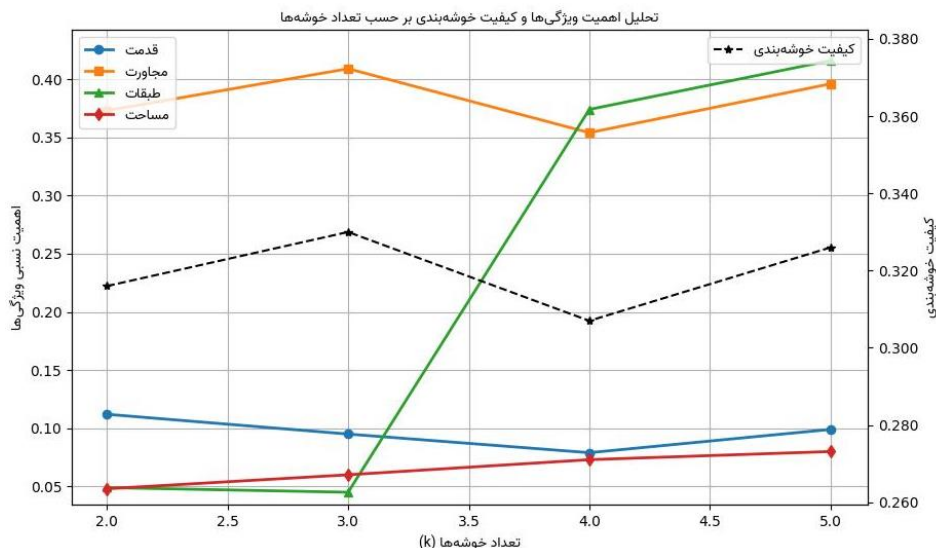


اتصالات دیوارهای خارجی	کاملاً جدا (کوشکی)	نیمه جدا	حیاط مرکزی	دیوار بدون پنجره (حمام)	زیرزمینی	بازار
تعداد ساختمان	۱۲۹	۵۴	۵۷	۹	۹	۲

تصویر ۵: درصد و تعداد ساختمان‌های تاریخی ثبت‌شده شهر تهران برحسب نوع اتصالات دیوارهای خارجی (مأخذ: نگارندگان)

در این پژوهش، داده‌های موردنیاز برای تیپولوژی بناهای تاریخی شهر تهران شامل ویژگی‌هایی همچون تعداد طبقات، قدمت بنا، مساحت و نوع مجاورت یا اتصال به ساختمان‌های مجاور گردآوری شد. یکی از چالش‌های اساسی در تدوین تیپولوژی، تعیین معیار یا ویژگی اولیه‌ای است که برای مبنای اصلی برای دسته‌بندی مورداستفاده قرار گیرد. برای این منظور از تحلیل آماری داده‌منا با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده شد. برای دسته‌بندی بناهای تاریخی شهر تهران از روش خوشه‌بندی (K-Means) استفاده شده است. خوشه‌بندی یکی از تکنیک‌های یادگیری بدون نظارت است که به‌طور خودکار داده‌ها را به گروه‌ها یا خوشه‌هایی تقسیم می‌کند که درون هر خوشه ویژگی‌های مشابهی دارند. هدف از این روش، شناسایی ساختارهای پنهان در داده‌ها و دسته‌بندی بناها بر اساس ویژگی‌هایی همچون تعداد طبقات، قدمت، مساحت و نوع مجاورت یا اتصال به ساختمان‌های مجاور است. ابتدا، تمامی داده‌ها با استفاده از مقیاس‌بندی استاندارد (Z-Score)<sup>۱۸</sup>، نرمال‌سازی شدند تا اثر مقیاس‌های اندازه‌گیری مختلف حذف شود و تمامی ویژگی‌ها در یک محدوده قابل مقایسه قرار گیرند.

الگوریتم K-Means برای مقادیر مختلف  $k$  یعنی ۲، ۳، ۴ و ۵ اجرا شد تا تأثیر تعداد خوشه‌ها بر کیفیت خوشه‌بندی و اهمیت نسبی ویژگی‌ها بررسی شود. کیفیت خوشه‌بندی با شاخص سیلوئت<sup>۱۹</sup> سنجیده شد و نتایج برای هر  $k$  در تصویر ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود،  $k=3$  بالاترین مقدار سیلوئت (۰٫۳۳۰) را دارد و بهترین تعادل را بین وضوح خوشه‌ها و تمایز خوشه‌ها ایجاد می‌کند.

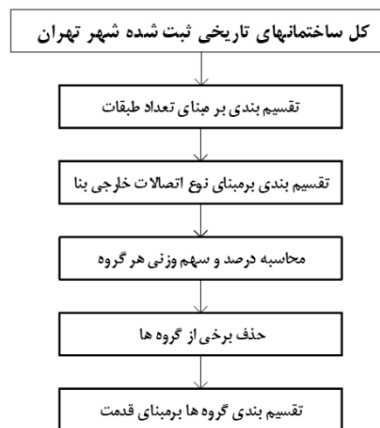


تصویر ۶: مقایسه مقادیر کیفیت خوشه‌بندی و اهمیت نسبی ویژگی‌ها در خوشه‌بندی با مقادیر مختلف  $k$  (مأخذ: نگارندگان)

به‌منظور تعیین اهمیت نسبی ویژگی‌ها، از مدل جنگل تصادفی استفاده شد. این روش همانند روشی است که در پژوهش‌های انجام‌شده توسط العبادی و همکاران (Al-Abadi et al., 2023) و همچنین جی یو و همکاران (Yu et al., 2021) پیشنهاد شده است و اعتبار آن نیز از راه تلفیق الگوریتم K-Means و جنگل تصادفی در مطالعات کاربردی و مبنای تئوریک به اثبات رسیده است. توسط این مدل، میزان اهمیت هر ویژگی در تعیین خوشه‌ها به‌صورت خودکار موردبررسی قرار گرفت. در تصویر ۶ خلاصه‌ای از نتایج تحلیل برای مقادیر مختلف  $k$  (تعداد خوشه‌ها) ارائه شده است. درواقع هدف از روش K-Means برای بررسی اهمیت نسبی ویژگی‌ها است. در این تحلیل، چند مقدار مختلف برای تعداد خوشه‌ها ( $k$ ) آزموده شد تا پایداری اهمیت ویژگی‌ها بررسی گردد.

تحلیل نشان داد که ویژگی‌های مجاورت (0.409) و تعداد طبقات (0.045) بیشترین نقش را در شکل‌گیری خوشه‌ها دارند، درحالی‌که ویژگی‌هایی مانند «قدمت» و «مساحت» تأثیر کمتری داشتند؛ بنابراین، در فرآیند تیپ‌بندی بناها، ابتدا تعداد طبقات به‌عنوان معیار اصلی و سپس نوع مجاورت به‌عنوان معیار ثانویه در نظر گرفته شد. انتخاب این ترتیب نه‌تنها بر اساس اهمیت آماری ویژگی‌ها در خوشه‌بندی قابل توجیه است، بلکه با تجربیات پروژه‌های مشابه مانند پروژه اِفِس که ساختمان‌ها را بر اساس تعداد طبقات و نوع هم‌جواری دیوارها در مناطق تاریخی اروپا طبقه‌بندی کرده است نیز همخوانی دارد. علاوه بر این دلیل انتخاب «تعداد طبقات» و «نوع مجاورت دیوارها» به‌عنوان شاخص‌های اصلی در تیپولوژی انرژی، ریشه در اولویت‌بندی هندسه پوسته ساختمان دارد؛ به‌عبارت‌دیگر، این دو شاخص «استخوان‌بندی حرارتی» بنا را شکل می‌دهند. تعداد طبقات نسبت سطح پوسته به حجم را کنترل می‌کند و نوع مجاورت دیوارهای خارجی با ساختمان‌های اطراف میزان تماس پوسته با هوای آزاد را مشخص می‌سازد؛ این عوامل مستقیماً شدت تبادل حرارتی، دریافت تابش خورشیدی و پتانسیل تهویه طبیعی را تعیین کرده و بیشترین تأثیر را بر مصرف انرژی دارند. در مدل‌های سلسله‌مراتبی تیپولوژی انرژی، این دو شاخص نخستین گام‌های خوشه‌بندی هستند و سایر پارامترها، از جمله مساحت، مصالح یا جزئیات ساختاری، به‌عنوان لایه‌های تکمیلی برای تحلیل دقیق‌تر فیزیکی و حرارتی به آن افزوده می‌شوند (Broström et al., 2017).

به این ترتیب، در تیپولوژی، گام‌های اولیه به ترتیب به طبقات و نوع اتصالات خارجی ساختمان‌ها اختصاص یافته‌اند. تصویر ۷ نمودار مراحل گام به گام تیپ‌بندی بناهای تاریخی شهر تهران را بر اساس ویژگی‌های معماری و تاریخی نشان می‌دهد.



تصویر ۷: مراحل گام به گام تیپ‌بندی بناهای تاریخی شهر تهران (مأخذ: نگارندگان)

در مرحله اول برای ساده‌سازی داده‌ها و تمرکز بیشتر بر ویژگی‌های اصلی، تعداد طبقات مجموعه ساختمان‌ها به دو گروه «یک طبقه» و «دوطبقه و بیشتر» تقسیم شد (جدول ۳).

جدول ۳: مرحله اول طبقه‌بندی تعداد ۲۰۹ ساختمان تاریخی ثبت‌شده شهر تهران به دو گروه یک «طبقه» و «دوطبقه و بیشتر» (مأخذ: نگارندگان)

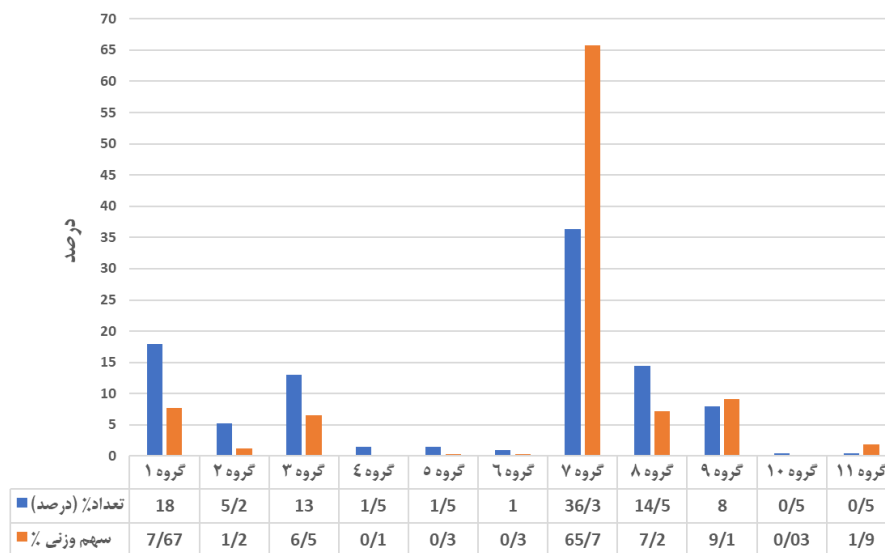
معیار	یک طبقه	دوطبقه و بیشتر
تعداد ساختمان	۸۴	۱۲۵
درصد٪	۴۰٪	۶۰٪

در مرحله دوم، پنج زیرگروه بر اساس نوع اتصالات خارجی ساختمان‌ها (مثل ساختمان‌های جدا، نیمه‌جدا، با حیاط مرکزی، بدون پنجره، زیرزمینی و بازارها) برای هر گروه از طبقات تعیین شد. با ایجاد زیرگروه‌ها امکان تجزیه و تحلیل عمیق‌تر خصوصیات فنی یا تاریخی بدون از دست دادن ویژگی‌های اساسی فراهم می‌شود (Broström et al., 2017). لذا در مرحله دوم پنج زیرگروه برای هر گروه بر مبنای نوع اتصالات خارجی بنا در قالب ۱۱ گروه تعیین شد. در گروه دوطبقه و بیشتر به علت نبود ساختمانی در گونه بازار، پنج زیرگروه تعریف شد.

در مرحله سوم پس از تشکیل این زیرگروه‌ها، درصد و سهم وزنی هر گروه نسبت به کل بناها محاسبه شد تا اهمیت نسبی آن‌ها مشخص شود. سهم وزنی مساحت هر گروه به این دلیل تعریف شد که یک گروه خاص ممکن است تعداد ساختمان‌های کمی داشته باشد اما با مساحت زیاد. بر این اساس، این گروه ممکن است وزن بیشتری نسبت به یک گروه با ساختمان‌های زیاد و مساحت‌های کوچک‌تر داشته باشد و مساحت بیشتر یا به عبارتی سهم وزنی بیشتر به معنای سهم بیشتر در مصرف انرژی است. لذا نسبت میانگین مساحت هر گروه به کل مساحت ساختمان‌ها برای ارائه سهم وزنی (درصد) برای هر گروه تعریف شد. تعداد ساختمان‌های هر گروه، درصد آن‌ها و سهم وزنی مساحت هر گروه در جدول ۴ نمایش داده شده‌اند. همچنین، در تصویر ۸ نموداری برای مقایسه درصد سهم وزنی و درصد تعداد ساختمان‌های هر گروه ارائه شده است. همان‌طور که در تصویر ۸ نمایش داده شده بیشتر درصد تعداد (۳۶٪) و سهم وزنی (۶۵٪) مربوط به گروه شماره ۷ یعنی ساختمان‌های کوشکی دارای دوطبقه است.

جدول ۴: مرحله دوم طبقه‌بندی، تقسیم هر بخش بر اساس دیوارهای مجاور به شش و پنج زیرگروه (مأخذ: نگارندگان)

معیار	اتصالات دیوارهای خارجی	علامت اختصاری	تعداد ساختمان‌ها	درصد (%)	سهم وزنی (%)
یک طبقه	گروه ۱	کاملاً جدا (کوشکی) Detached	۳۸	۱۸	۷/۶۷
	گروه ۲	نیمه جدا Detached-Semi	۱۱	۵/۲	۱/۲
	گروه ۳	حیاط مرکزی Central Courtyard	۲۷	۱۳	۶/۵
	گروه ۴	دیوار بدون پنجره (حمام) Windowless Wall	۳	۱/۵	۰/۱
	گروه ۵	زیرزمینی Underground Building	۳	۱/۵	۰/۳
	گروه ۶	بازار Bazar	۲	۱	۰/۳
دو طبقه و بیشتر	گروه ۷	کاملاً جدا (کوشکی) Detached	۷۶	۳۶/۳	۶۵/۷
	گروه ۸	نیمه جدا Detached-Semi	۳۰	۱۴/۵	۷/۲
	گروه ۹	حیاط مرکزی Central Courtyard	۱۷	۸	۹/۱
	گروه ۱۰	دیوار بدون پنجره (حمام) Windowless Wall	۱	۰/۵	۰/۰۳
	گروه ۱۱	زیرزمینی Underground Building	۱	۰/۵	۱/۹



تصویر ۸: درصد سهم وزنی و درصد تعداد ساختمان‌های هر گروه (مأخذ: نگارندگان)

در مرحله چهارم تیپولوژی گروه‌هایی که از نظر تعداد یا سهم وزنی فاقد کفایت آماری بودند، حذف شدند تا تحلیل‌های بعدی دقیق‌تر انجام شود. گروه‌های شماره ۲، ۴، ۵، ۶، ۱۰ و ۱۱ به علت تعداد محدود و درصد سهم وزنی کمتر از ۲٪ از فهرست گروه‌ها حذف شد. نمونه‌هایی از بناهای تاریخی شهر تهران در پنج گروه اصلی باقی‌مانده در تصویر ۹ قابل مشاهده هستند.

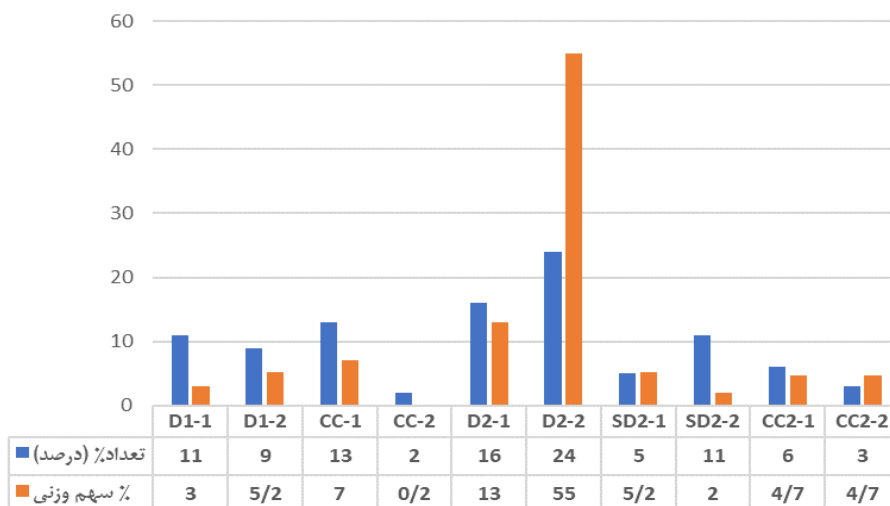
معیار	(یک طبقه)			(دو طبقه و بیشتر)	
	گروه ۱	گروه ۳	گروه ۷	گروه ۸	گروه ۹
معیار	گروه ۱	گروه ۳	گروه ۷	گروه ۸	گروه ۹
اتصالات دیوارهای خارجی	کاملاً جدا (کوشکی) Detached	حیاط مرکزی Central Courtyard	کاملاً جدا (کوشکی) Detached	نیمه جدا (دو دیوار مجاور) Detached-Semi	حیاط مرکزی Central Courtyard
عنوان	عنوان: استاد برجسته	عنوان: شهید چمران	عنوان: دانشگاه هگمتان	عنوان: دانشگاه	عنوان: دانشگاه
عنوان	عنوان: پیران اسپار	عنوان: مسرت آبیوسف شهید	عنوان: آبیوسف	عنوان: دانشگاه	عنوان: دانشگاه
عنوان	عنوان: حدادی اتری	عنوان: دانشگاه شهید باهنر	عنوان: دانشگاه	عنوان: دانشگاه	عنوان: دانشگاه
عنوان	عنوان: پیران	عنوان: دانشگاه	عنوان: دانشگاه	عنوان: دانشگاه	عنوان: دانشگاه

تصویر ۹: نمونه‌هایی از بناهای تاریخی ۵ گروه‌های اصلی ۱، ۳، ۷، ۸، ۹. (مأخذ: نگارندگان)

در گام پایانی، تقسیم‌بندی بر اساس قدمت تاریخی بر روی گروه‌های باقی‌مانده انجام شد تا تیپ‌بندی نهایی، بعد زمانی را نیز دربرگیرد. در این مرحله، گروه‌ها به دو زیرگروه با توجه به قدمت بنا تفکیک شدند: یکی شامل ساختمان‌های مربوط به دوره پهلوی اول و دوم و دیگری شامل بناهای متعلق به دوره قاجاریه و پیش از آن. پس از این تفکیک زمانی، برای هر زیرگروه نیز کاربری قبلی بنا به صورت مسکونی یا غیرمسکونی تعیین شد. در نهایت، ۱۰ گروه نماینده از بناهای تاریخی شهر تهران بر اساس این تیپ‌بندی و مطابق با جدول ۵ مشخص شد.

جدول ۵: تقسیم هر گروه به دو زیرگروه بر اساس دوره‌های تاریخی "دوره پهلوی اول و دوم" (P) و "دوره قاجاریه و ما قبل از آن" (G) و حذف گروه‌های ۲، ۴، ۵، ۶، ۱۰ و ۱۱ (مأخذ: نگارندگان)

معیار	(یک طبقه)				(دو طبقه و بیشتر)					
	گروه ۱		گروه ۳		گروه ۷		گروه ۸		گروه ۹	
اتصالات دیوارهای خارجی	کاملاً جدا (کوشکی) Detached		حیاط مرکزی Central Courtyard		کاملاً جدا (کوشکی) Detached		نیمه جدا (دو دیوار مجاور) Detached-Semi		حیاط مرکزی Central Courtyard	
علامت اختصاری	D		CC		D		SD		CC	
تعداد ساختمان‌ها	۳۸		۲۷		۷۶		۳۰		۱۷	
درصد (%)	۲۰		۱۵		۴۰		۱۶		۹	
میانگین مساحت (مترمربع)	۱۰۶۱		۱۲۶۹		۴۵۵۰		۱۲۶۲		۲۸۱۴	
سهم وزنی (%)	۲/۸		۲/۷		۶۸		۲/۷		۴/۹	
زیرگروه	D1-1	D1-2	CC-1	CC-2	D2-1	D2-2	SD2-1	SD2-2	CC2-1	CC2-2
قدمت	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P
تعداد	۲۱	۱۷	۲۴	۳	۳۱	۴۵	۹	۲۱	۱۲	۵
درصد (%)	۱۱	۹	۱۳	۲	۱۶	۲۴	۵	۱۱	۶	۳
سهم سهم وزنی (%)	۳	۲/۵	۷	۲/۰	۱۳	۵۵	۲/۵	۲	۷/۴	۷/۴
مسکونی	۳	۲	۳	۱	۲۵	۲۱	۸	۱۶	۱	۰
غیرمسکونی	۱۸	۱۵	۲۱	۲	۶	۲۴	۱	۵	۱۱	۵



تصویر ۱۰: درصد سهم وزنی و درصد تعداد ساختمان‌های هر گروه (مأخذ: نگارندگان)

همانطور که در تصویر ۱۰ نمایش داده شده است بیشترین درصد تعداد (۲۴٪) و سهم وزنی (۵۵٪) مربوط به گروه شماره D2-2 یعنی ساختمان‌های کوشکی و مستقل دارای دوطبقه مربوط به دوره‌های پهلوی اول و دوم است.

### ۶- تحلیل انرژی محور بناهای کوشکی دوطبقه و بیشتر در دوره پهلوی

معماری دوره پهلوی در ایران به دلیل نفوذ چشمگیر سبک‌های مدرن غربی و هم‌زمان با رشد گسترده شهرنشینی، دوره‌ای از تحولات ساختاری و شکلی بنیادین را تجربه کرد که ساختمان‌ها و فضاهای شهری از بافت فرهنگی و اقلیمی خود جدا شدند. با آغاز دوره پهلوی، تحولات اجتماعی و حکومتی باعث چرخش بنیادین معماری از درون‌گرا به برون‌گرا (نماگرا) شد. این تغییر، بر تمام عناصر شهری مانند نما، خیابان و پنجره تأثیر گذاشت و معماری نوین شهری را پدید آورد. بناهای مستقل عمدتاً در قالب ساختمان‌های اداری، آموزشی، مالی، نظامی و مسکونی به‌عنوان عناصر منفرد در ساختار شهرسازی نوین استقرار یافتند و برخلاف الگوی سنتی درون‌گرا، با تأکید بر تقارن، محوریت ورودی و خوانایی نمای اصلی، به‌صورت برون‌گرا و نمایشی طراحی شدند. استقلال حجمی این بناها و قرارگیری آن‌ها در میان قطعه زمین، اگرچه بیانگر اقتدار و نظم دولت مدرن بود، اما از منظر انرژی موجب افزایش سطح تماس بنا با محیط بیرون و تشدید تبادل حرارتی ناخواسته شد؛ مسئله‌ای که در اقلیم‌های گرم و خشک و معتدل ایران پیامدهای منفی قابل توجهی بر عملکرد حرارتی ساختمان داشت.

پلان خطی و راهروهای طولانی باعث افزایش حجم فضاهای غیرفعال و طولیل شد که نیازمند تهویه و گرمایش/سرمایش هستند. چنین ساختاری، جایگزین الگوی حیاط‌محور معماری سنتی شد که نقش اساسی در تهویه طبیعی، تأمین نور و تعدیل دما ایفا می‌کرد. حذف حیاط مرکزی و فضاهای نیمه‌باز، در بناهای مستقل دوطبقه و بیشتر پهلوی، موجب کاهش گردش طبیعی هوا و افزایش وابستگی به سامانه‌های مکانیکی گرمایش و سرمایش شد؛ وابستگی‌ای که در دوره‌ای با زیرساخت انرژی محدود، بهره‌وری کلی بنا را کاهش می‌داد.

به‌کارگیری پلکان‌های بزرگ داخلی و ورودی‌های تشریفاتی در معماری مسکونی و دولتی دوره پهلوی، منجر به ایجاد فضاهای داخلی حجیم و باز شد که به‌تبع آن، نیاز به کنترل انرژی (تهویه/گرمایش و سرمایش) را به‌شدت افزایش داد. تأثیر تحول مصالح ساختمانی در معماری دوران پهلوی بر عملکرد انرژی بناها، به‌گونه‌ای بود که در پهلوی اول، با وجود استفاده از آجر و افزودن تدریجی سنگ و بتن که تعادلی بین جرم حرارتی و پایداری ایجاد می‌کرد، اما کاهش ضخامت دیوارها و تغییر نسبت بازشو به دیوار و گسست میان جرم حرارتی و فضای داخلی، موجب شد ظرفیت ذخیره و آزادسازی حرارت که از ویژگی‌های مثبت معماری سنتی بود، کارایی خود را از دست بدهد. در دوران پهلوی دوم، با تسلط بتن مسلح،

سازه‌های فلزی و نماهای شیشه‌ای/آلومینیومی، با وجود مدرن شدن معماری، کاهش چشمگیر جرم حرارتی مؤثر و افزایش نفوذپذیری حرارتی نماها (شیشه)، وابستگی ساختمان‌ها به سیستم‌های مکانیکی تهویه مطبوع را برای حفظ آسایش حرارتی به شدت افزایش داد.

افزایش ارتفاع بنا در تیپ بناهای مستقل و کوشکی، باعث افزایش نسبت سطح پوسته به حجم شد. این امر به معنای آن است که بنا در تمامی جبهه‌ها در معرض تابش خورشید، باد و نوسانات دمایی قرار می‌گیرد؛ در حالی که در بافت متراکم و کم‌ارتفاع سنتی، هم‌جواری بناها نقش مهمی در کاهش تبادل حرارتی ایفا می‌کرد. در بناهای کوشکی چندطبقه دوره پهلوی، این گسست از بافت پیرامونی موجب افزایش بار حرارتی تابستانه و اتلاف انرژی در زمستان شد و عملکرد انرژی بنا را نسبت به نمونه‌های پیشین تضعیف کرد.

در پوسته این بناها، نما بیش از آن که به عنوان یک فیلتر اقلیمی عمل کند، حامل پیام‌های ایدئولوژیک و زیبایی‌شناختی بود. پنجره‌های عمودی و نسبتاً بزرگ، تکرار منظم بازشوها در طبقات و فقدان عناصر سایه‌انداز سنتی همچون ایوان، رواق و پیش‌آمدگی‌های عمیق، باعث شد کنترل تابش خورشید و تهویه طبیعی به حداقل برسد. در نتیجه، پوسته بناهای دوطبقه و بیشتر پهلوی به عنصری پراتلاف از منظر انرژی تبدیل شد.

گسترش بناها در امتداد خیابان‌ها و باز شدن پنجره‌ها به سمت خیابان باعث شد ساختمان‌ها را بیش از پیش در معرض عوامل اقلیم شهری قرار دهد و به شدت نقش حیاط‌ها و فضاهای داخلی در کنترل خرد اقلیم محلی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی را کاهش داد.

با توجه به یافته‌های تحلیل آماری و ویژگی‌های منحصر به فرد بناهای کوشکی دوطبقه دوره پهلوی (تیپ غالب)، می‌توان گفت این ساختمان‌ها پتانسیل بالایی برای بهینه‌سازی انرژی دارند. برای مثال، افزودن عایق زیر شیروانی به صورت غیرتهاجمی و قابل بازگشت، ضمن کاهش اتلاف انرژی، تأثیر کمی بر ارزش‌های تاریخی دارد. بررسی بناهای تاریخی تهران نشان می‌دهد حدود ۴۶ درصد ساختمان‌ها سقف شیب‌دار دارند (معادل ۴۰ درصد از سهم وزنی) که سهم قابل توجهی (بیش از یک‌سوم) از تیپ کوشکی دوطبقه پهلوی را نیز شامل می‌شود و این موضوع پتانسیل بالای این تیپولوژی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، به‌ویژه در سقف‌ها را نشان می‌دهد. افزون بر این، شناسایی تیپولوژی‌های دارای بسامد بالا در تهران نشان می‌دهد که بسیاری از این بناها به دلیل ساخت در دوره‌های نزدیک تاریخی و بهره‌گیری از مصالح و نظام ساخت مشابه، الگوهای کالبدی و رفتاری مشترکی را بروز می‌دهند. از سوی دیگر، تیپولوژی بناها در ارزیابی ارزش میراثی آن‌ها نیز مؤثر بوده و افق دید گسترده‌تری برای تحلیل و داوری کارشناسان حوزه حفاظت ایجاد می‌کند. این همسانی، فرایند ارزیابی انرژی، تعریف سناریوهای مداخله و مقایسه گزینه‌های بهره‌وری انرژی را تسهیل کرده و به کاهش عدم قطعیت در تصمیم‌گیری کمک می‌کند.

به دنبال نتایج تیپولوژی و شناسایی تیپ غالب (از جمله تیپ کوشکی دوطبقه پهلوی)، فرایند تصمیم‌گیری اقدامات بهره‌وری انرژی نیز به صورت تیپ‌محور دنبال می‌شود، به این معنا که ویژگی‌های مشترک هر تیپ مبنای انتخاب مداخلات انرژی و ارزیابی آن‌ها قرار می‌گیرد. در گام نخست، گزینه‌های بالقوه اقدامات بهره‌وری انرژی در سطوح ساختمانی، تأسیساتی، رفتار کاربران و راهکارهای طراحی و سازمان‌دهی فضایی استخراج می‌شوند، اما نه به صورت یک فهرست عمومی، بلکه با قابلیت تطبیق با ویژگی‌های کالبدی هر تیپ. سپس در گام دوم، این اقدامات از منظر میراثی و براساس حساسیت اجزای تیپ‌ها نسبت به مداخله مورد ارزیابی قرار می‌گیرند؛ فرایندی که بنیاد نظری آن پیش‌تر در پژوهش قبلی نویسندگان (ایمانی و دیگران، ۱۴۰۴) توسعه یافته و امکان سنجش میزان آسیب‌پذیری اجزای ارزشمند بنا را فراهم کرده است. در گام سوم پس از تعیین اقدامات کم‌خطر از منظر میراثی، تحلیل انرژی در قالب سناریوهای تیپ‌محور انجام می‌شود تا ترکیب بهینه‌ای از مداخلات که بیشترین بازدهی انرژی را با کمترین اختلال در اصالت کالبدی ایجاد می‌کند، مشخص شود. چنین رویکردی به جای ارائه توصیه‌های کلی، امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر ویژگی‌های واقعی هر تیپ را فراهم می‌سازد و موجب کاهش خطای تعمیم‌پذیری نتایج می‌شود. در این ساختار، تیپولوژی نه صرفاً یک نظام دسته‌بندی، بلکه

یک ابزار راهبردی در هدایت مداخلات و مدیریت تعارض میان حفاظت میراثی، صرفه‌جویی انرژی، هزینه و برگشت‌پذیری اقدامات است.

رویکرد ارائه‌شده در این مطالعه قابلیت تعمیم به سایر مناطق گرم و خشک ایران و دیگر اقلیم‌ها را داراست. با وجود مزایای ارائه‌شده، پژوهش حاضر بر توسعه تیپولوژی ساختمان‌ها در اقلیم گرم و خشک متمرکز بوده و تحلیل مستقیم عملکرد انرژی انجام نگرفته است. با این حال انتظار می‌رود این تیپولوژی زیرساخت لازم برای پژوهش‌های آتی شامل شبیه‌سازی و ارزیابی انرژی، پایداری زیست‌محیطی از طریق تحلیل چرخه عمر، امکان‌سنجی اقتصادی و ارزیابی کیفیت محیط داخلی را فراهم آورد تا بهره‌وری انرژی و پایداری به‌صورت جامع مدنظر قرار گیرد.

## ۷- نتیجه‌گیری

در چند دهه گذشته، تلاش‌های فزاینده‌ای برای ارتقا بهره‌وری انرژی و بهبود شرایط آسایش داخلی در بناهای تاریخی مشاهده شده است. اکثر پروژه‌ها و مطالعات بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی، مربوط به مناطق سرد و معتدل اروپا و آمریکای شمالی بوده و تمرکز اصلی آن‌ها بر پوسته ساختمان و معیارهای کالبدی ساخت در این مناطق است. در ایران، به دلیل وجود بسترهای اقلیمی متنوع، با تنوعی از ایده‌های معمارانه و عناصر خاص در ساختار بنا روبرو هستیم و برای پژوهش و تهیه دستورالعمل در زمینه بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی ایران نیازمند شناخت عملکرد و پتانسیل‌های انرژی این بناهای تاریخی هستیم.

تیپولوژی بناهای تاریخی، با تسهیل گردآوری و سازمان‌دهی داده‌های پایه، پیش‌نیازی تحلیلی برای طراحی اقدامات بهره‌وری انرژی و حفظ ارزش‌های میراثی محسوب می‌شود. این تیپولوژی، چارچوبی نظام‌مند برای پیوند میان ویژگی‌های کالبدی و رفتار انرژی بناها فراهم می‌آورد و نقش کلیدی در برنامه‌ریزی هدفمند و اولویت‌بندی مداخلات انرژی ایفا می‌کند. نتایج این پژوهش، مبنایی برای تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی و برآورد پتانسیل صرفه‌جویی در مقیاس کل بافت تاریخی است؛ به‌گونه‌ای که نتایج حاصل از مدل‌سازی انرژی ساختمان‌های نماینده می‌تواند برای برآورد و شبیه‌سازی پتانسیل صرفه‌جویی در ساختمان‌های مشابه به کار رود. از این رو، تیپولوژی ارائه‌شده نه تنها ماهیتی توصیفی ندارد، بلکه گامی پایه‌ای در فرآیند مدل‌سازی و تصمیم‌سازی انرژی در بناهای تاریخی تهران به شمار می‌آید.

روش پیشنهادی تیپولوژی بر پایه معیارهایی که از مطالعات پیشین استخراج و متناسب برای شهر تهران بومی‌سازی شده‌اند، تدوین و اجرا شد. با توجه به تنوع ایده‌ها و عناصر ویژه معماری ایرانی در بناهای تاریخی شهر تهران، شش الگوی کالبدی اصلی بر اساس نوع مجاورت‌ها و اتصالات دیوارهای خارجی شامل ساختمان‌های مستقل و کاملاً جدا (کوشکی)، نیمه‌جدا (دارای اتصال دو دیوار مجاور)، حیاط مرکزی، دیوار بدون پنجره (حمام)، زیرزمینی (آب‌انبار) و بازار شناسایی شد. در ادامه با بهره‌گیری از تحلیل‌های آماری و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، بناهای تاریخی تهران بررسی شدند تا مهم‌ترین معیارهای مؤثر در تیپ‌بندی شناسایی و اعتبارسنجی شوند. بر این مبنا در طی فرایند تیپولوژی، در پنج مرحله بناهای تاریخی شهر تهران ابتدا بر اساس تعداد طبقات و سپس نوع اتصال دیوارهای خارجی دسته‌بندی شدند. پس از محاسبه سهم وزنی زیرگروه‌ها و حذف گروه‌های آماری ضعیف، تیپولوژی نهایی بر پایه قدمت تاریخی انجام گرفت و در نهایت، ده تیپ اصلی شناسایی شد. نتایج نشان داد که بیشترین درصد (۲۴٪) و سهم وزنی (۵۵٪) مربوط به گروه ساختمان‌های کوشکی و مستقل دارای دوطبقه و بیشتر مربوط به دوره‌های پهلوی اول و دوم است. این به معنی است که با تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مدیریت انرژی این تیپ از ساختمان‌ها و تحلیل ساختار و عملکرد انرژی می‌توان بیش از نیمی از کاهش مصرف انرژی در بناهای تاریخی شهر تهران را به ارمغان آورد. تیپولوژی بناهای تاریخی شهر تهران از منظر انرژی امکان‌سنجایی ساختار معماری، نوع شناسی مصالح و خواص ترموفیزیکی آن‌ها را فراهم می‌آورد. بر این اساس، می‌توان این روش را ابزاری قابل اعتماد برای پیش‌بینی مصرف انرژی در این بناها قلمداد کرد.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، تیپولوژی حاصل، اطلاعات مربوط به بناهای تاریخی شهر تهران را به‌صورت طبقه‌بندی شده سازمان‌دهی می‌کند. این سازمان‌دهی، پیش‌نیازی تحلیلی برای پژوهش‌های آتی نظیر اولویت‌بندی بناها

برای مداخلات انرژی و نیز ارزیابی ارزش میراثی با در اختیار داشتن داده‌های ساختاری همگن فراهم می‌آورد. همچنین این چارچوب می‌تواند مبنایی برای گفت‌وگوی اولیه میان متخصصان میراث فرهنگی و انرژی قرار گیرد. با توجه به قابلیت تعمیم‌پذیری روش تیپولوژی ارائه شده در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی این رویکرد در سایر شهرهای واقع در اقلیم گرم و خشک ایران و حتی در دیگر اقلیم‌ها نیز به کار گرفته شود تا تیپ‌های بومی شده‌ای متناسب با شرایط اقلیمی و کالبدی هر منطقه تدوین گردد.

## پی‌نوشت

- <sup>1</sup> International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)
- <sup>2</sup> International Specialist Committee on Energy and Sustainability (ISCES)
- <sup>3</sup> American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)
- <sup>4</sup> Guideline 34-2019-Energy Guideline for Historic Buildings
- <sup>5</sup> CSN EN 16883-Conservation of cultural heritage-Guidelines for improving the energy performance of historic buildings
- <sup>6</sup> Historic England
- <sup>7</sup> Sustainable Traditional Buildings Alliance (STBA)
- <sup>8</sup> Italian Association for Air Conditioning, Heating, Refrigeration (AiCARR)
- <sup>9</sup> Energy, Carbon and Cost Assessment for Building Stocks (ECCABS)
- <sup>10</sup> Energy Efficiency for EU Historic Districts' Sustainability (EFFESUS)
- <sup>11</sup> Visby
- <sup>12</sup> Energy renovation of pre-war Walloon buildings with heritage value (P-Renewal)
- <sup>13</sup> Clustering Analysis
- <sup>14</sup> Random Forest (RF)
- <sup>15</sup> Iranian Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization, Official Website, <https://www.mcth.ir/>
- <sup>16</sup> Iranian Museums, Official Website, <https://iranmuseums.mcth.ir/>
- <sup>17</sup> داده‌ها برگرفته از دانشنامه تاریخ معماری و شهرسازی ایران شهر (ایران آرک پدیا)، سازمان میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی، بر پایه پرونده‌های ثبتی آثار ملی ایران (شماره‌های ۱ تا ۲۲۷۷۵)، دسترسی در ۱۸ مهر ۱۴۰۴.
- <sup>18</sup> Standard Scaler.
- <sup>19</sup> Silhouette Score.

## منابع

- ایمانی چات قیه، فاطمه، طاهباز، منصوره و حیدری، شاهین. (۱۴۰۴). تدوین چارچوب ارزیابی اهمیت میراثی برای سناریوهای اقدامات بهره‌وری انرژی در بناهای تاریخی ایران. نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی. ۳۰(۱)، ۲۲-۷
- حاجی قاسمی، کامبیز (۱۳۸۳)، گنجنامه (بناهای مذهبی تهران) فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران. ناشر: دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

- حاجی قاسمی، کامبیز (۱۳۸۳)، گنجنامه (خانه‌ها) فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران. ناشر: دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- حاجی قاسمی، کامبیز (۱۳۸۳)، گنجنامه (کاخ‌ها و باغ‌ها) فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران. ناشر: دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- دانشنامه‌ی تاریخ معماری و شهرسازی ایران شهر. بر اساس پرونده‌های ثبت میراث ملی ایران (شماره‌های ۱-۲۲۷۷۵) <https://iranarchpedia.ir>
- فرح بخش، مرتضی، حناچی، پیروز و غنایی، معصومه. (۱۴۰۰). گونه‌شناسی خانه‌های تاریخی بافت قدیم شهر مشهد، از اوایل قاجار تا اواخر پهلوی اول. نشریه مطالعات معماری ایران. ۱۲(۶)، ۹۷-۱۱۶.
- Al-Abadi, A. A. J., Mohamed, M. B., & Fakhfakh, A. (2023). Enhanced Random Forest Classifier with K-Means Clustering (ERF-KMC) for Detecting and Preventing Distributed-Denial-of-Service and Man-in-the-Middle Attacks in Internet-of-Medical-Things Networks. *Computers*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/computers12120262>
  - Bastian, Z., & Troi, A. (2015). *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings A Handbook*. Birkhäuser.
  - Berg, F. (2015). *Categorising a historic building stock - an interdisciplinary approach* [Master's thesis, Uppsala University, Department of Art History]. <https://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:843373%0A%0A>
  - Bertolin, C., & Loli, A. (2018). Sustainable interventions in historic buildings: A developing decision making tool. *Journal of Cultural Heritage*, 34, 291-302. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.08.010>
  - Broström Prof, T., Eriksson, P., Liu, L., Rohdin, P., Ståhl, F., & Moshfegh, B. (2018). A method to assess the potential for and consequences of energy retrofits in Swedish historic buildings. *Historic Environment: Policy and Practice*, 5(2), 150-166. <https://doi.org/10.1179/1756750514Z.00000000055>
  - Broström, T., Donarelli, A., & Berg, F. (2017). For the categorisation of historic buildings to determine energy saving. *AGATHON International Journal of Architecture, Art and Design*, 1, 135-142. <https://doi.org/10.19229/2464-9309/1212017>
  - Buda, A., Gori, V., Hansen, E. J. de P., López, C. S. P., Marincioni, V., Giancola, E., Vernimme, N., Egusquiza, A., Haas, F., & Herrera-Avellanosa, D. (2022). Existing tools enabling the implementation of EN 16883:2017 Standard to integrate conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 57, 34-52. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2022.07.002>
  - Dascalaki, E. G., Drousta, K. G., Balaras, C. A., & Kontoyiannidis, S. (2011). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings*, 43(12), 3400-3409. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.09.002>
  - EN16883. (2017). *Conservation of cultural heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic buildings*. 0-33.
  - Eriksson, P., Hermann, C., Hrabovszky-Horváth, S., & Rodwell, D. (2014). EFFESUS methodology for assessing the impacts of energy-related retrofit measures on heritage significance. *Historic Environment: Policy and Practice*, 5(2), 132-149. <https://doi.org/10.1179/1756750514Z.00000000054>
  - Filogamo, L., Peri, G., Rizzo, G., & Giaccone, A. (2014). On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes. *Applied Energy*, 135, 825-835. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2014.04.002>

- Ibrahim, H. S. S., Khan, A. Z., Attia, S., & Serag, Y. (2021). Classification of heritage residential building stock and defining sustainable retrofitting scenarios in Khedivial Cairo. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su13020880>
- ICOMOS. (2019). The Future of our Pasts: Engaging cultural heritage in climate action. In *International Council on Monuments and Sites*. <https://indd.adobe.com/view/a9a551e3-3b23-4127-99f>
- Labadi, S., Giliberto, F., Rosetti, I., Shetabi, L., & Yildirim, E. (2021). Heritage and the Sustainable Development Goals: POLICY GUIDANCE FOR HERITAGE AND DEVELOPMENT ACTORS. In *ICOMOS*. <https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2453>
- Lidelöw, S., Örn, T., Luciani, A., & Rizzo, A. (2019). Energy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review. *Sustainable Cities and Society*, 45(September 2018), 231–242. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.029>
- Loga, T., Stein, B., & Diefenbach, N. (2016). TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable. *Energy and Buildings*, 132, 4–12. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.06.094>
- Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and Buildings*, 55, 889–902. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2012.08.018>
- Mata, É., Sasic Kalagasidis, A., & Johnsson, F. (2014). Building-stock aggregation through archetype buildings: France, Germany, Spain and the UK. *Building and Environment*, 81, 270–282. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2014.06.013>
- Parekh, A. (2005). Development of archetypes of building characteristics libraries for simplified energy use evaluation of houses. *IBPSA 2005 - International Building Performance Simulation Association 2005*, 921–928.
- Raslan, E., Donarelli, A., & Angelis, E. De. (2018). Categorization of the heritage building stock in Cairo for the energy planning purposes. A method and the typical buildings. *Energy Efficiency in Historic Buildings 2018*, 503–511.
- Ruggeri, A. G., Gabrielli, L., & Scarpa, M. (2020). Energy retrofit in european building portfolios: A review of five key aspects. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18), 1–37. <https://doi.org/10.3390/SU12187465>
- Trachte, S., & Stiernon, D. (2024). P-Renewal Project: A Reflexive Contribution to the Evolution of Energy Performance Standards for the Renovation of Historic Buildings. *Heritage*, 7(3), 1539–1568. <https://doi.org/10.3390/heritage7030074>
- Yu, J., Zhu, L., Qin, R., Zhang, Z., Li, L., & Huang, T. (2021). Combining k-means clustering and random forest to evaluate the gas content of coalbed bed methane reservoirs. *Geofluids*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9321565>

Original Research Article

## Architectural Typology of Historic Buildings in Tehran: A Basis for Energy Retrofit Analysis and Scenarios

Fatemeh Imani chat ghayeh<sup>1</sup>, Mansoureh Tahbaz\*<sup>2</sup>, Shahin Heidari<sup>3</sup>

1- PhD student in Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3- Professor, Department of Architectural Technology, Faculty of Fine Arts, University of Tehran, Iran.

 [10.22034/ahdc.2026.24026.1898](https://doi.org/10.22034/ahdc.2026.24026.1898)

Received:

January 12,  
2026

Accepted:

May 5, 2026

Keywords:

Energy  
efficiency,  
historical  
building,  
Tehran,  
typology.

### Abstract

In recent years, improving energy efficiency in historic buildings while preserving their heritage values has become a key focus in sustainable architecture. Building typology, by identifying common patterns, offers an effective framework for assessing energy performance and developing sustainable solutions. While most previous studies have concentrated on cold and temperate climates and their architectural forms, this study addresses the unique structural characteristics of Iran's historic architecture within its hot, dry climate. It proposes a regionally adapted, energy-focused typology for historic buildings in Tehran to facilitate the development of effective energy efficiency scenarios.

This study employs a mixed-methods approach, comprising two main components: a qualitative review based on literature analysis and a quantitative examination of numerical data. Qualitative data were analytically derived from previous projects to establish the criteria and components for the typology. Quantitative data, gathered from various literature sources, pertain to 310 listed historic buildings in Tehran. To analyze these quantitative data and uncover hidden patterns, data-driven techniques such as cluster analysis and random forest were utilized. These methods aimed to identify key factors influencing typology, evaluate their relative importance, and provide a foundation for developing typologies aligned with the architectural characteristics of historic buildings. Based on the adjacency of exterior walls, six main morphological typologies were identified in Tehran's historic architecture: Detached (Kushki), Semi-detached, Central courtyard, Windowless wall, Underground, and Bazaar types. Using a five-stage process and criteria importance assessment, ten building typologies were ultimately defined. Two-story and higher detached buildings from the Pahlavi era, with the highest frequency and weighted share, are the primary focus for energy management, potentially accounting for over half of energy savings in Tehran's historic buildings. Given the adaptability of the proposed typology method, it can be applied to various cities and climates across Iran to develop region-specific typologies and enable detailed energy performance modeling for evaluating energy efficiency interventions.

